

## 持世寺温泉の水系と化学成分の動向

山口県衛生公害研究センター (所長: 宮村恵宣)

歳 弘 克 史・藤 原 美智子・河 村 憲 治  
岡 田 雅 裕・珠 山 光 顕\*

### The Thermal Groundwater System and Chemical Compositions in JISEIJI Hot Springs

Katsushi TOSHIHIRO, Michiko FUJIWARA, Kenji KAWAMURA  
Masahiro OKADA, Mitsuaki TAMAYAMA

Yamaguchi Prefectural Research Institute of Health (Director: Dr. Shigenori MIYAMURA)

#### はじめに

持世寺温泉の杉野泉, 菊泉及び上の湯泉の3泉源はごく狭い地域に近接して掘削された温泉である。このような温泉は, 一般に同一地質から湧出していることが推定されるため, 泉質も同一であることが考えられる。しかしながら, 1987~1991年の4年間調査した持世寺温泉3泉源については, 泉温, pH値及びRn量などが異なり, 泉質名もそれぞれ単純弱放射能温泉, アルカリ性単純弱放射能温泉, アルカリ性単純温泉とそれぞれ異なった特徴を備えている。

これらの3泉源については, 第1報から第3報<sup>1~3)</sup>で化学成分の経時変化等を報告してきたが, 本報では, 3泉源間の成分等の相関及び相違点から泉源系列について推定を行い, これに基づいて衰退現象にかかわる3泉源間相互の影響や今後の対策等について検討を行った。

#### 調査方法

第1~3報<sup>1~3)</sup>のとおりである。

#### 調査結果

表1に3泉源の主要成分について, 各年度別に最高値, 最低値, 平均値等を示した。また, 3泉源の水質組成を図1に示した。

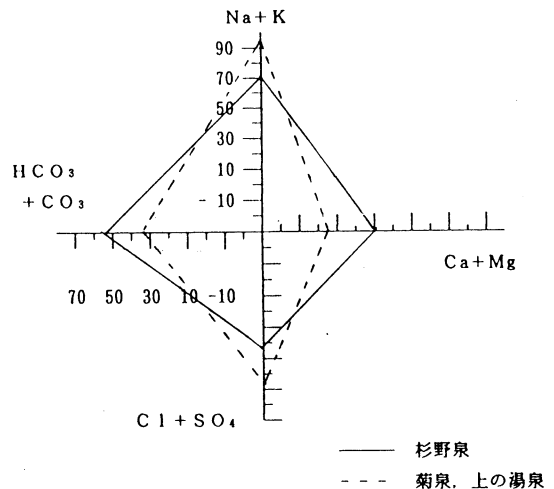


図1 水質組成図

\* 山口環境保健所: 山口市葵2丁目5-69

表 1 3 泉源における主要成分の年度別測定値

杉野泉		Rn	泉温	湧出量	pH	ER	Na	K	Ca	Mg	F	Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	気温
S62.5~S63.3	平均値	106.8	26.2	60.1	8.05	211	40.7	0.97	20.79	0.33	5.88	35.00	9.38	93.06	3.42	36.49	19.7
S63.5~H1.3	"	90.8	26.4	70.5	8.17	208	40.7	0.94	14.76	0.43	6.08	40.47	8.46	95.48	2.00	44.05	21.0
H1.5~H2.3	"	84.0	26.2	51.8	8.15	214	42.7	0.99	14.34	0.45	5.35	36.30	10.05	94.34	0.55	40.50	20.4
H2.5~H3.3	"	84.3	26.0	44.9	8.02	213	46.0	0.99	13.22	0.38	5.78	34.80	11.04	95.60	1.25	39.58	19.6
最高値 (4年間)		112.8	26.9	79.5	8.30	237	51.0	1.30	23.78	0.50	8.05	53.25	12.50	100.70	4.80	48.05	34.8
最低値	"	68.5	25.6	32.5	7.78	187	34.0	0.85	12.48	0.05	4.68	25.56	6.21	82.38	0.00	34.07	7.5
平均値	"	91.5	26.2	56.7	8.10	212	42.5	0.97	15.78	0.40	5.77	36.64	9.73	94.62	1.80	40.15	20.2
変動係数	%	13.7	1.1	25.5	1.6	5.5	10.7	10.9	20.7	24.4	11.3	12.6	16.0	4.0	84.7	8.9	39.4

菊泉		Rn	泉温	湧出量	pH	ER	Na	K	Ca	Mg	F	Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	気温
S62.5~S63.3	平均値	92.5	37.4	50.0	8.98	249	64.3	0.98	4.09	0.00	11.20	75.84	3.50	26.75	17.80	37.97	19.7
S63.5~H1.3	"	71.5	36.8	54.2	9.12	248	63.8	0.93	3.42	0.03	9.19	76.33	4.94	26.00	20.00	46.18	21.0
H1.5~H2.3	"	66.2	36.8	47.0	9.06	266	71.3	1.04	4.21	0.01	11.48	74.82	5.02	24.83	18.95	44.38	20.4
H2.5~H3.3	"	56.8	36.7	45.5	9.01	253	77.6	1.02	3.83	0.00	9.90	72.23	6.34	26.24	18.35	41.42	19.6
最高値 (4年間)		108.3	37.9	68.1	9.21	288	86.0	1.46	5.16	0.05	12.73	88.04	8.33	32.80	24.00	52.42	34.8
最低値	"	44.9	35.0	20.3	8.85	225	59.0	0.84	2.04	0.00	7.15	61.35	2.83	18.00	15.60	35.71	7.5
平均値	"	71.7	36.9	49.0	9.04	254	69.3	0.99	3.89	0.01	10.44	74.80	4.95	25.95	18.77	42.49	20.2
変動係数	%	24.0	1.7	27.3	1.1	6.8	9.9	13.9	18.2	145.3	13.3	6.9	30.6	17.0	10.0	9.5	39.4

上の湯		Rn	泉温	湧出量	pH	ER	Na	K	Ca	Mg	F	Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	気温
S62.5~S63.3	平均値	32.7	40.3	93.0	8.95	267	69.5	1.16	3.76	0.00	10.65	80.13	4.29	32.37	19.18	41.60	19.7
S63.5~H1.3	"	26.7	40.2	86.5	9.17	264	68.7	1.14	3.45	0.02	10.31	83.34	4.81	32.98	19.48	51.98	21.0
H1.5~H2.3	"	26.7	40.0	89.2	9.08	275	76.3	1.15	4.04	0.01	12.43	75.00	7.21	36.04	20.78	48.71	20.4
H2.5~H3.3	"	24.9	40.1	90.4	9.03	266	83.7	1.11	3.46	0.00	10.67	71.72	8.03	33.79	18.60	45.78	19.6
最高値 (4年間)		38.0	41.0	107.6	9.40	289	89.0	1.45	4.91	0.05	13.29	92.30	11.11	44.24	27.58	57.88	34.8
最低値	"	16.1	39.9	73.4	8.73	246	64.2	1.00	1.92	0.00	9.54	67.90	1.76	22.96	15.63	36.36	7.5
平均値	"	27.7	40.2	89.8	9.06	268	74.6	1.14	3.68	0.01	11.01	77.55	6.08	33.80	19.51	47.02	20.2
変動係数	%	19.5	0.6	12.4	1.6	4.3	9.4	9.3	18.0	193.2	10.5	8.4	39.3	16.3	13.3	10.7	39.4

注：単位は Rn,  $\times 10^{-10}$  Ci/kg. 泉温と気温, °C. 湧出量, L/分. その他 mg/kg.

1 各項目別調査結果

(1) 成分含有量の比較

各成分の含量を4年間の平均でみると

ア Rnの含有量は杉野泉が最も多く、菊泉、上の湯の順であった。

イ 泉温は、上の湯が最も高く、菊泉、杉野泉の順であった。

ウ 湧出量は、上の湯が最も多く、杉野泉、菊泉の順であった。

エ ER, pH, F, Na, Cl, CO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>は、上の湯が最も多く、菊泉、杉野泉の順であった。

(2) 主要成分の構成比の比較

主要陽イオン、陰イオンの組成(ミリバル%)についてみると、

ア 陽イオンは3泉源ともNa+K>Ca>Mgであった。

イ 陰イオンについてみると杉野泉はHCO<sub>3</sub>+CO<sub>3</sub>>Cl>SO<sub>4</sub>であったが、菊泉及び上の湯はCl>HCO<sub>3</sub>+CO<sub>3</sub>>SO<sub>4</sub>であった。

(3) 年度平均の項目別増減状況について、表2

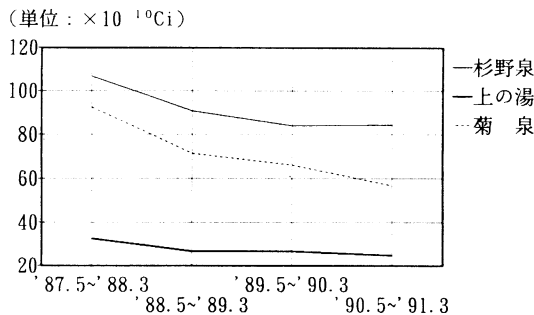


図2 Rnの推移

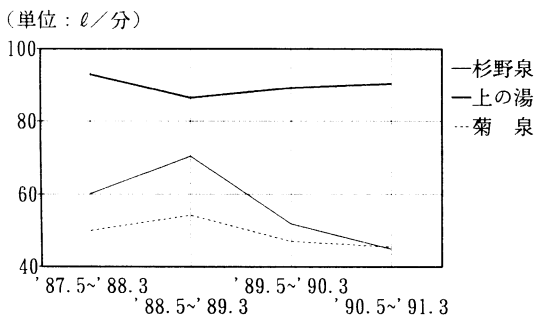


図3 湧出量の推移

(単位: °C)

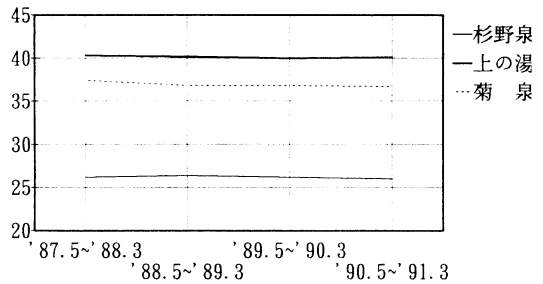


図4 泉温の推移

に示した。また、図2にRn、図3に湧出量、図4に泉温の推移を示した。

Rnは菊泉及び上の湯で減少傾向がみられた。

湧出量は杉野泉及び菊泉で減少の傾向がみられた。

泉温、ER、HCO<sub>3</sub>、pHは、3泉源ともにほぼ一定であった。

Naはいずれも増加の傾向にあり、H<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>は減少の傾向がみられた。

2 3泉源の各成分の相関(4年間)

3泉源の成分の相関について表3に示した。これらの相関係数は全て有意であった(P<0.01)。この表より、Rn、ER、Na、K、Cl、SO<sub>4</sub>及びH<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>は、3泉源ともに相関が認められた。

pH、Ca、Mg及びFは、菊泉及び上の湯で相関が認められた。

泉温は、杉野泉と菊泉の間で相関が認められた。

考 察

1 持世寺温泉の泉源について

一般に、温泉水は循環水、つまり地表面からしみ込んだ地下水が温められて出てくるものが大部分であると言われている<sup>1)</sup>。持世寺温泉の泉源岩について高橋<sup>2)</sup>は、広島型花崗岩を母岩とする古第三紀厚東川礫岩層中に湧出する温泉であると報告している。また、1972年に山口県が行った「土地分類基本調査」<sup>3)</sup>によれば、霜降岳山地及び周辺の丘陵地は白亜紀の粗粒黒雲母花崗岩からなっており、持世寺から南方に通ずる直線上の谷線に同方向の数本の断層が存在することから推して、

地質構造に支配された原地形的な残丘ではないかと推定している。

持世寺温泉の地質は既に冷えきった中生代白亜紀の花崗岩からなっており、マグマの貫入もないため、温度の高い温泉水の湧出の要因としては、地熱によるもの以外には考えられない。

一般的に地熱の増温率は、 $3^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ であり、山口県においては経験的に $2^{\circ}\text{C}$ 以下/ $100\text{m}$ とされている。山口県の平均地下水温は $17^{\circ}\text{C}$ であるので、持世寺温泉の中で一番泉温の高い上の湯の $40^{\circ}\text{C}$ 以上を確保するためには、少なくとも $900\sim 1200\text{m}$ 以上の地下深度から湧出することが必要である。

持世寺温泉の温泉源は、このような深度の地熱で暖められた高温の温泉水が断層に沿って急速に地表近くまで上昇してきて礫岩層に滞留し、周囲の地温や地下水温を上昇させているものと推定される。このことが持世寺温泉の高い泉温を保持している要因と考えられる。

また、今回の調査成績(表3)では、主要成分であるRn, ER, Na, K, Cl,  $\text{SO}_4$ 及び $\text{H}_2\text{SiO}_3$ について3温泉間に相関が認められており、このことは、付近の岩質等から共通の影響を受けてい

ることに起因しているものと推察される。

以上の二つの理由から、持世寺温泉は同一泉源に由来するものと考えられる。

## 2 主要化学成分等からみた他水系からの持世寺温泉への影響

持世寺温泉群は同一泉源に由来するとの考察を行ったが、これらの温泉の化学成分等をより詳しくみると、次の理由により杉野泉、菊泉・上の湯と二つの温泉系列が存在していると推察される。

(1) 杉野泉と上の湯・菊泉の間に成分含有濃度の違いが認められる。例えば、ERでみると上の湯 $268\text{mg}$ 、菊泉 $254\text{mg}$ と多く、杉野泉は $212\text{mg}$ と少ない。また、Fについても同様に上の湯 $11.01\text{mg}$ 、菊泉 $10.44\text{mg}$ と多く、杉野泉は $5.77\text{mg}$ と少ない。

(2) 泉温については、上の湯 $40.2^{\circ}\text{C}$ 、菊泉 $36.9^{\circ}\text{C}$ が高く、杉野泉は $26.2^{\circ}\text{C}$ と低い。

(3) 主要陽イオン及び陰イオンの水質組成をみると、図1に示したように菊泉と上の湯はほぼ同一であるが、杉野泉は異なっている。

(4) 3泉源間の各成分の相関をみると、杉野泉と菊泉、杉野泉と上の湯よりも菊泉と上の湯に多くの成分相関が認められた。

表2 項目別増減状況

	杉野湯	菊泉	上の湯
ほぼ一定なもの	泉温 ER $\text{HCO}_3$ pH	泉温 ER $\text{HCO}_3$ pH Ca Cl	泉温 ER $\text{HCO}_3$ pH K
増加傾向にあるもの		$\text{SO}_4$	$\text{SO}_4$
昭和63年度から増加	Na $\text{SO}_4$	Na	Na 湧出量
減少傾向	Ca	Rn	Rn
昭和63年度から減少	$\text{H}_2\text{SiO}_3$ Cl 湧出量	$\text{H}_2\text{SiO}_3$ 湧出量	$\text{H}_2\text{SiO}_3$ Cl
1年毎に増減	F	F	F

表3 各成分の相関

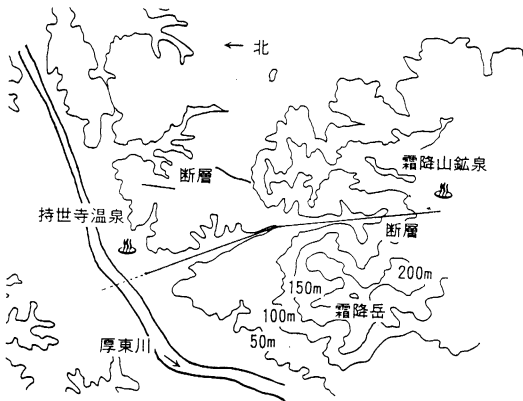
	杉野泉菊泉	杉野泉上の湯	菊泉上の湯
Rn	0.754	0.671	0.636
pH			0.914
ER	0.657	0.771	0.588
Na	0.817	0.665	0.939
K	0.806	0.764	0.715
Ca			0.859
Mg			0.871
F			0.688
Cl	0.613	0.642	0.685
$\text{SO}_4$	0.531	0.682	0.797
$\text{H}_2\text{SiO}_3$	0.849	0.858	0.876

注：数値は相関係数(r)である。

(5) 泉温とMg含有量の関係をみると、著者らが過去において調査を実施した山口県の温泉では、泉温が高いとMg含有量が少なく、逆に泉温が低



A 断面図



B 平面図

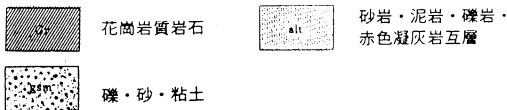


図5 持世寺温泉・霜降山岳周辺の地形及び地質  
(断面図は「土地分類基本調査」<sup>6)</sup>より引用した)

いとMg含有量が多い傾向にある。持世寺温泉についても同様な関係にあり、泉温の高い菊泉及び上の湯ではMg含有量が少なく、泉温の低い杉野泉ではMg含有量が多い。

上の湯のボーリングコアを調べてみると、硬い花崗岩と変質した軟らかい花崗岩が幾重にも重なっており、しかも3泉源も近接して位置しているので、持世寺温泉の基盤となっている泉源以外の泉源からも影響を受けていると考えれば、ボーリング深度が250m以上の菊泉、上の湯と3.6mの杉野泉とでは、透水層の配置の関係でその影響の受け方にも差異が出てくるのではないかとの仮説を立ててみた。

持世寺温泉・霜降岳周辺の地形及び地質を図5に示した。

持世寺温泉は、南側背部に標高250mの霜降岳があり、この霜降岳からの地下水が持世寺温泉の温泉水系に関連していると考えられる。その理由として、現在は護岸工事で消失したが、過去において杉野泉と100mしか離れていない北側(厚東川南岸)に数か所の温泉が自然湧出しており、霜降岳の山頂から杉野泉の延長上にも温泉が存在していたことを示している。また、霜降岳の谷線に沿って持世寺温泉に至る断層が走っており、場合によっては、霜降山鉾泉水系がこれに沿って流下している可能性もある。このことから、現在においても霜降岳から持世寺温泉の低地へ流れる温泉水系の存在が推定される。そして、この水系が持世寺温泉の地層250m以内を流れているとすれば、

表4 霜降山鉾泉と持世寺温泉(杉野泉、菊泉、上の湯)の成分比較表

温泉名	Rn	泉温	pH	ER	Na	K	Ca	Mg	F	Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>
霜降山鉾泉	133.6	15.1	5.1	66	6.7	2.6	1.0	1.0	0.0	9.8	6.1	4.7	0.0	15.4
杉野泉	91.5	26.2	8.10	212	42.5	0.97	15.78	0.40	5.77	36.64	9.73	94.62	1.80	40.15
菊泉	71.7	36.9	9.04	254	69.3	0.99	3.89	0.01	10.44	74.80	4.95	25.95	18.77	42.49
上の湯	27.7	40.2	9.06	268	74.6	1.14	3.68	0.01	11.01	77.55	6.08	33.80	19.51	47.02

単位 Rn :  $\times 10^{-10}\text{Ci/kg}$ , 泉温 :  $^{\circ}\text{C}$ , ER以下は $\text{mg/kg}$ .

源泉深度が3.6mと浅く、自噴している杉野泉は霜降岳水系の影響を多く受けるが、ボーリング深度が250m以上と深い菊泉、上の湯については、比較的、霜降岳からの温泉水の流入量が少ないものと推定される。

以上述べた仮説を裏付けるために霜降山鉱泉及び持世寺温泉の主要成分の比較を表4に示した。

Rn及びMgについては、霜降山鉱泉が量的に一番多く、この水系の混入量の違いにより、杉野泉→菊泉→上の湯の順にRn及びMgの含量が減少している。先にRn温泉について、泉温が低いとMgが多い関係が持世寺温泉においても成立することを述べたが、このことは杉野泉が霜降岳水系からRn及びMgの供給を受けているとすれば説明できる。また、上の湯のRn含有量が27.7と低いが、昭和39年には52.4と高かったものが、源泉Rn含有量の減少と相まって揚泉量も著しく増加したため、水脈の途中でRnの供給が減少したためではないかと推定している。

泉温、pH、ER、Na、F、Cl、CO<sub>3</sub>及びH<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>については、霜降山鉱泉の含有量等が最も少なく、この水系の混入量の違いによって、杉野泉→菊泉→上の湯の順に濃度勾配が形成されている。一方、K、Ca、SO<sub>4</sub>及びHCO<sub>3</sub>含有量を比較すると、霜降岳水系の影響を最も受けているはずの杉野泉がKを除けばその値が高く、霜降岳水系からの単純な混入だけでは説明できない。

そこで、杉野泉のCa、SO<sub>4</sub>及びHCO<sub>3</sub>含有量を「日本の上部浅層地下水の水質」<sup>7)</sup>で調べたところ、井戸水などの一般地下水と同程度の性状であり、著者らの行った県内の井水調査の結果ともほぼ一致する。これらのことから杉野泉は霜降岳水系の混入のほかにも、流入経路は明らかでないが、源泉周辺の地下水流入の可能性も考えられる。また、霜降岳水系が流下する途中でこれらの成分が付加される可能性もある。なお、Kについては、3源泉ともに値が近似しているが、この理由については不明である。

いままで述べてきたことを総合すると、「霜降岳水系は持世寺温泉の比較的浅い透水層へ流入し、

掘削深度の浅い杉野泉にかなり多くの水量が混入しており、また、周辺の地下水の混入もあるが、掘削深度250m以上の菊泉、上の湯については、これらの混入が少量であるため、局地的には杉野泉系列と菊泉・上の湯系列の二つの水系が二次的に形成されている」との仮説が成立するものと考えられる。

### 3 持世寺温泉の衰退現象

源泉の衰退現象としては、温度低下、湧出量の減少、溶存成分の減少が起こると一般的に言われている<sup>8)</sup>。

(1) 持世寺温泉源泉に霜降岳水系が関与しているとすると、衰退減少については次の二つが考えられる。一つは、霜降岳水系が枯渇または遮断された場合、混入量の多い杉野泉についてはRnの減少など泉質的にかなりの衰退現象が引き起こされるが、菊泉・上の湯については影響が少ないものと考えられる。一方、持世寺温泉源泉が枯渇または遮断された場合、杉野泉、菊泉、上の湯共に衰退現象が現れ、このなかで杉野泉は霜降岳水系からの温泉水の供給のみになるものと考えられる。

(2) 杉野泉及び菊泉の2源泉について、本調査だけでは衰退現象と断定できないが、湧出量とRn等に減少傾向<sup>1~3)</sup>がみられたので、今後とも使用量等について十分な注意を払うとともに泉質の変動を把握する必要がある。

3源泉について過去におけるRn量と現在のそれとを比較すると、杉野泉158(昭和42年)→91.5、上の湯52.4(昭和39年)→27.7、菊泉121(昭和44年)→71.7(×10<sup>-10</sup> Ci)と減少しており、持世寺温泉の源泉においてRn量の衰退は確実に進んでいるものと考えられる。

持世寺温泉の発展を考え、将来にわたって安定した泉質を確保するためには、温泉の有効な活用を行うとともに、各源泉が能力を超えた揚泉を行わないよう努力することが最も重要である。

例えば、温泉の有効な活用法としては、現在利用されずに放流されている余分の温泉について、各施設間で共同利用することなども考えられる。

## 要 約

杉野泉、菊泉及び上の湯について4年間調査し、次の結果が得られた。

1 3泉源は、大きくみると同一泉源に由来する温泉群であるが、主として化学成分等の相違からみて、霜降岳水系及び一部周辺の地下水が持世寺温泉の比較的浅い透水層へ流入しており、杉野泉ではかなり多くの水量が混入するが、掘削深度250 m以上の菊泉、上の湯については少量の混入であるため、杉野泉系列と菊泉・上の湯系列の二つの水系が二次的に形成されていることを推定した。

2 持世寺温泉群は同一泉源に由来することから、一方において多量に揚泉し、泉源の能力を超えた場合に、特に霜降岳水系混入量の少ない菊泉と上の湯では、お互いに影響を及ぼす可能性があるものと思われる。

3 杉野泉及び菊泉の2泉源について、本調査だけでは衰退現象と断定できないが、湧出量と $R_n$ 等に減少傾向がみられたので、今後とも使用量等について十分な注意を払うとともに泉質の変動を把握する必要がある。

4 持世寺温泉の発展を考え、将来にわたって安定した泉質を確保するためには、温泉の有効な活

用を行うとともに、泉源の能力を超えた揚泉を行わないことが最も重要である。

## 謝 辞

稿を終わるにあたって、持世寺温泉の地質や温泉源について有益なご助言をいただいた山口大学教授西村祐二郎博士に厚くお礼申し上げます。

## 文 献

- 1) 歳弘克史ら：山口衛公研業報. (12), 13～17 (1991)
- 2) 歳弘克史ら：山口衛公研業報. (12), 18～21 (1991)
- 3) 歳弘克史ら：山口衛公研業報. (12), 22～25 (1991)
- 4) 佐藤幸二：温泉工学会誌. 9, 17～36 (1973)
- 5) 高橋英太郎：山口大理科報告. 12, 81～86 (1961)
- 6) 山口県：土地分類基本調査(小郡).(1972)
- 7) 本島公司：地下水・温泉の分析. 東京, 講談社. 1973, 37～39
- 8) 甘露寺泰雄：温泉科学. 37, 112～127(1987)